饲粮中添加橡胶籽饼对蛋鸡蛋黄脂肪酸组成的影响

鲁琼芬[1] 陈培富[1*] 柴 艳[2] 李琦华[3**]

（1.云南农业大学动物科学技术学院，昆明 650201；2.云南省德宏州芒市科学技术局，德宏 678400；3.云南农业大学动物科学技术学院，云南省动物营养与饲料重点实验室，昆明 650201）

摘 要：本试验通过在海兰褐蛋鸡饲粮中添加不同水平的橡胶籽饼，评价其对蛋黄脂肪酸组成及胆固醇含量的影响。选取72只25周龄的健康海兰褐蛋鸡，随机分成6个组，每组4个重复，每个重复3只鸡。对照组饲喂基础饲粮，试验Ⅰ～Ⅴ组饲粮分别在基础饲粮中添加5.00%、10.00%、15.00%、20.00%和25.00%的橡胶籽饼。试验期6周。结果表明：饲粮中添加不同水平橡胶籽饼对蛋鸡蛋黄饱和脂肪酸（SFA）组成无显著影响（$P>0.05$）；但蛋黄亚油酸（LA）、α-亚麻酸（ALA）、二十碳五烯酸（EPA）和二十二碳六烯酸（DHA）含量随饲粮橡胶籽饼水平的增加呈增加趋势，且各试验组蛋黄DHA含量与对照组相比差异显著（$P<0.05$）；随饲粮橡胶籽饼水平的增加，蛋黄多不饱和脂肪酸（PUFA）、n-6 PUFA和n-3 PUFA含量呈增加趋势，n-6/n-3 PUFA呈降低趋势；各试验组蛋黄胆固醇含量与对照组相比差异不显著（$P>0.05$），但均低于对照组。由此可见，饲粮中添加不同水平的橡胶籽饼能够获得较低的n-6/n-3 PUFA，达到提高蛋黄PUFA、n-6 PUFA和n-3 PUFA含量的目的。

关键词：橡胶籽饼；蛋鸡；蛋黄；多不饱和脂肪酸

中图分类号：S831

橡胶籽是橡胶树的种子，为橡胶种植业的副产物。新鲜橡胶籽的外壳约占其总重量的 1/3，水分含量达 25%；籽仁中富含油脂，其组成类似于亚麻籽油。与大豆饼粕相比，溶剂浸出和机榨的橡胶籽饼粕含较多油脂。橡胶籽粕的脂肪酸组成中，多不饱和脂肪酸（PUFA）占 54.7%，单不饱和脂肪酸（MUFA）占 25.9%，饱和脂肪酸（SFA）占 10.4%；而亚麻籽粕的脂肪酸组成中，PUFA、MUFA 和 SFA 分别占 67.9%、16.4%和 9.7%[1]。橡胶籽粕的粗蛋白质含量为 25%～

收稿日期：2016-11-04

作者简介：鲁琼芬（1976—），女，云南安宁人，实验师，硕士，主要从事动物营养与饲料研究。E-mail: luqiongfen0302@163.com

*同等贡献作者

**通信作者：李琦华，教授，研究生导师，E-mail: 2473170727@qq.com

30%，各种必需氨基酸含量较高且比例均衡，是优质的纯天然热带蛋白质饲料原料[2]。橡胶籽饼粕可部分替代优质蛋白源，为饲粮补充能量和蛋白质。目前，我国可结籽橡胶树约 1 400 万亩，每亩橡胶林年产橡胶籽 30～45 kg，全国每年可产橡胶籽 42～63 万 t[3]。截止 2008 年，云南省植胶种植面积达 43.58 万公顷[4]，仅西双版纳华坤生物科技有限公司年加工橡胶籽可达 1 万余 t，生产橡胶籽油 2 000 多 t 和橡胶籽饼 4 200 多 t[5]。由此可见，橡胶籽资源开发潜力巨大。橡胶籽粕售价仅为 2 500 元/t，远低于豆粕，若大力发展饲料用橡胶籽粕，必将降低地方畜禽养殖成本，形成对豆粕等饲料的有力补充。研究表明，饲粮中添加 8%～24%的橡胶籽饼，肉仔鸡未出现临床中毒症状，肝功能正常，肝组织切片镜检也未发现中毒病理变化[6]；饲粮中添加 5%～25%的橡胶籽饼对肉鸡的生长发育、成活率、日增重和肌肉化学成分等均无不良影响，但各试验组的采食量及料重比均高于对照组[7]。目前，有关橡胶籽饼粕在蛋鸡上的应用报道较少，且仅限于对蛋鸡生产性能和蛋品质的研究[8]。已知通过调整蛋鸡饲粮可改变蛋的脂肪酸组成，进而增加蛋中 PUFA 含量，为人类提供富含 PUFA 的蛋[9-10]。研究也发现，通过调控蛋鸡饲粮，使之产富含 n-3 PUFA 的蛋完全切实可行[11-14]。鉴于橡胶籽富含 PUFA，本试验通过在蛋鸡饲粮中添加不同水平的橡胶籽饼，研究其对蛋黄脂肪酸组成和胆固醇含量的影响，以期提高橡胶籽饼粕的附加值。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验动物

试验用橡胶籽饼由云南西双版纳华坤生物科技有限公司提供，常规营养成分含量见表 1。试验选取 72 只 21 周龄的健康海兰褐蛋鸡，随机分成 6 个组，每组 4 个重复，每个重复 3 只鸡。对照组饲喂基础饲粮，试验Ⅰ~Ⅴ组饲粮分别在基础饲粮中添加 5.00%、10.00%、15.00%、20.00%和 25.00%的橡胶籽饼。原饲粮继续饲喂蛋鸡 3 周，待各组蛋鸡适应新环境且产蛋率无显著差异时，用各试验组饲粮饲喂并逐渐过渡 3 d，以减少换料给蛋鸡造成的应激，预试期 1 周。25 周龄时开始正式试验，试验期 6 周。

表1 橡胶籽饼常规营养成分含量

Table 1 Basic nutrition composition content of rubberseed cake %

项目 Item	干物质 DM	水分 Moisture	粗蛋白质 CP	粗脂肪 EE	粗灰分 Ash	粗纤维 CF	钙 Ca	磷 P

含量 Content	93.90	6.10	28.70	9.40	5.36	14.60	0.24	0.35

表中所有数值均为实测值。下表同。All values in the table were measured values. The same as below.

1.2 试验饲粮

各组试验饲粮按照代谢能和各营养素相同的原则，参照《鸡饲养标准》（NY/T 33—2004）中的产蛋鸡营养需要进行科学配制，所有原料一次性采购。试验饲粮组成及营养水平见表 2。

表2 试验饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 2 Composition and nutrient levels of experimental diets (air-dry basis) %

项目 Items	组别 Groups					
	对照 Control	I	II	III	IV	V
原料 Ingredients						
玉米 Corn	56.57	54.60	52.65	50.67	46.73	44.76
豆粕 Soybean meal	26.92	24.18	21.43	18.69	15.68	12.93
小麦麸 Wheat bran	1.46	1.10	0.73	0.38	1.80	1.44
猪油 Lard	3.50	3.50	3.50	3.50	4.00	4.00
橡胶籽饼 Rubberseed cake		5.00	10.00	15.00	20.00	25.00
食盐 NaCl	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
石粉 Limestone	8.49	8.46	8.42	8.38	8.37	8.34
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.61	1.66	1.72	1.78	1.77	1.83
赖氨酸 Lys		0.04	0.08	0.13	0.16	0.20
蛋氨酸 Met	0.10	0.11	0.12	0.12	0.14	0.15
预混料 Premix[1)]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]						
代谢能 ME/(MJ/kg)	11.71	11.71	11.71	11.71	11.71	11.71
粗蛋白质 CP	16.50	16.50	16.50	16.50	16.50	16.50
钙 Ca	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50
总磷 TP	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60

有效磷 AP	0.38	0.39	0.40	0.40	0.41	0.41
食盐 NaCl	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37
赖氨酸 Lys	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83
蛋氨酸 Met	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36
粗脂肪 EE	6.60	7.10	7.30	7.90	8.80	9.30
粗纤维 CF	3.50	4.00	4.30	4.50	5.50	6.10

[1)] 预混料为每千克饲粮提供 Premix provided the following per kg of diets:VA 16 500 IU，VD_3 3 300 IU，VE 200 mg，VK_3 3 mg，VB_1 1.5 mg，VB_2 6.0 mg，泛酸钙 calcium pantothenate 9.0 mg，烟酸 niacin 18.0 mg，VB_6 3.0 mg，VB_{12} 0.009 mg，叶酸 folic acid 0.6 mg，生物素 biotin 0.03 mg，Zn 35.00 mg，Cu 4.00 mg，Fe 60.00 mg，Mn 30.00 mg，I 0.35 mg，Se 0.10 mg，乙氧基喹啉 ethoxyquin 750 mg。

[2)] 粗脂肪和粗纤维为实测值，其余均为计算值。EE and CF were measured values, while the others were calculated values.

1.3 饲养管理

试验鸡在同一栋鸡舍内饲养，采用笼养方式，每笼 1 只鸡。鸡舍按照常规程序消毒、清理粪便，每天上午喂料前打开窗户，晚上关灯前关闭窗户，以保证鸡舍内良好的空气环境。试验期间每天 07:00 和 16:00 喂料，白天采用自然光照，晚上辅以人工光照，每天恒定光照时间为 16 h。采用自动饮水器自由饮水，自由采食。每天 16:30 收集鸡蛋，每天记录鸡舍温度和湿度。

1.4 主要仪器及试剂

1.4.1 仪器

HP–7890 气相色谱仪（USA），配 FID 检测器和 HP INNOWAX 毛细管色谱柱，柱长 30 m，内径 0.25 mm，膜厚 0.25 μm，温度承受范围 40～260 ℃（程序升温最高耐受温度为 270 ℃），载气为高纯氮气（N_2），燃气为混合空气及高纯氢气（H_2）。HP–1100 型高效液相色谱（HPLC）仪（USA），配 HP 20RBA×SB-C18 液相色谱柱，5 μm，250 mm×4.6 mm，流动相为乙腈–异丙醇（4:1），须过 0.45 μm 有机系微孔滤膜，流速为 1.200 mL/min，柱温 35.0 ℃，检测波长 210 nm，进样量为 10 μL。XW–80A 旋涡混匀器，THZ–82 恒温振荡器，CP–214 电子分析天

平，JI 80–2B 离心机，DL–180A 超声波清洗机，HH SY21–Ni 恒温水浴锅。

1.4.2 试剂

月桂酸甲酯、肉豆蔻酸甲酯、棕榈酸甲酯、十七烷酸甲酯、硬脂酸甲酯、油酸甲酯和花生酸甲酯脂肪酸甲酯标准品，购自美国AccuStandard公司。亚油酸（LA）甲酯、γ-亚麻酸（GLA）甲酯、α-亚麻酸（ALA）甲酯、花生四烯酸（AA）甲酯、二十碳五烯酸（EPA）甲酯、二十二碳六烯酸（DHA）甲酯脂肪酸甲酯标准品和胆固醇标准品，购自美国NU-CHEKPREP公司。常规试剂：乙腈、甲醇、异丙醇均为色谱纯（美国），正己烷、甲醇、乙酰氯、碳酸钾，均为分析纯（国产）。

1.4.3 标准品及试剂的配制

标准储备液及工作液配制：分别称取各脂肪酸甲酯标准品100 mg，用正己烷多次洗涤转移至5 mL容量瓶中，定容至刻度，得到各脂肪酸甲酯标样储备液（20 mg/mL），封口，–20 ℃保存。用此溶液配制浓度分别为5.00、2.50、1.25、0.50和0.25 mg/mL的标准工作液，现用现配。

称取 20.2 mg 胆固醇标准品，置于烧杯中，用无水乙醇溶解，多次洗涤转移至 25 mL 容量瓶中稀释至刻度，得到胆固醇储备液（1.008 mg/mL）。用此溶液配制浓度分别为 0.1008、0.2016、0.4032、0.6048 和 0.8064 mg/mL 标准工作液。在 HPLC 进样前须过 0.45 μm 有机系微孔滤膜。

1.5 样品采集

于第4和6周周五、周六收集鸡蛋，每重复取3枚鸡蛋，分离蛋清后，3个蛋黄合并为1个样品，混匀后于–20 ℃保存，用于分析蛋黄脂肪酸组成。于第6周，每组随机抽取4枚蛋，用于测定蛋黄胆固醇含量。

1.6 样品前处理

1.6.1 脂肪酸测定样品甲酯化

取5 g蛋黄样品，冷冻干燥48 h，准确称取0.500 0 g干燥的蛋黄样品于20 mL具塞试管中，每个试管中加入2 mL正己烷，然后缓慢加入3 mL 5%新配制的甲酰氯（缓慢加入1倍乙酰氯于10倍无水甲醇中），并使该溶剂直接加至样品中，以防溅到试管壁上。慢速旋涡震荡1 min，使反应物距试管底部高度保持在2~3 cm，然后将样品管于70 ℃水浴2 h，如果溶剂挥发，则样

品冷却后加入2 mL正己烷，再水浴，以保证甲酯化完全。再将样品管冷却至室温，加入5 mL 6% K_2CO_3溶液，再加入2 mL正己烷使样品接近中性。中速震荡30 s混匀，然后1 500 r/min离心10 min，试管上层有机相（正己烷）用移液器转移到螺盖试管中，然后向试管中的萃取液加入1 g无水硫酸钠脱水，过0.45 μm有机系微孔滤膜，上机待测。

1.6.2 胆固醇测定样品前处理

将鸡蛋打开，除去蛋清，将蛋黄置于烧杯中混匀，称取 5.000 0 g 蛋黄样品，用蒸馏水稀释并定容至 50 mL 容量瓶中，混匀，得到蛋黄稀释液 0.1 g/mL。精密量取蛋黄稀释液 1.0 mL，置于具塞磨口试管，加入 1 mL 95%乙醇，旋涡混匀，以避免絮状沉淀产生。加入 2.5 mL 乙醚，振摇 30 s；再加入 2.5 mL 石油醚，充分振荡，静置 30 min，使液层分离；吸取上层有机相于另一具塞试管中，同法再依次加入乙醚、石油醚萃取 1 次，合并 2 次萃取液。合并 2 次的萃取液，于 40 ℃水浴中用 N_2 吹干，加入 2.0 mL 无水乙醇溶解，过 0.45 μm 有机系微孔滤膜，作为 HPLC 分析样品上机待测。

1.7 样品测定

1.7.1 蛋黄中脂肪酸的测定及含量计算

蛋黄中脂肪酸的测定参照Sukhija等[15]的方法，并做改进。HP–7890气相色谱仪（美国）的工作条件：色谱柱为HP INNOWAX 30 m×0.25 mm×0.25 μm，载气为N_2；恒定柱流+尾吹速度23.371 mL/min，H_2流量40 mL/min，空气流量400 mL/min；进样口温度220 ℃，采取不分流进样方式，进样量2 μL，压力设为433.87 pa，隔垫吹扫流量3 mL/min；FID检测器工作温度280 ℃。升温程序：100 ℃保持1 min，以15 ℃/min升至200 ℃并保持5 min，再以4 ℃/min升至250 ℃并保持10 min，合计35.167 min。根据保留时间定性，外标法定量。根据峰面积和浓度绘制标准曲线，以峰面积y为纵坐标，各脂肪酸甲酯标准溶液浓度x为横坐标作标准曲线，得出各脂肪酸甲酯的线性方程，以样品中各脂肪酸绝对含量为测定指标。线性方程相关系数分别为月桂酸甲酯（R^2=0.999 2），肉豆蔻酸甲酯（R^2=0.999 4），棕榈酸甲酯（R^2=0.999 1），十七烷酸甲酯（R^2=0.999 3），硬脂酸甲酯（R^2=0.999 4），油酸甲酯（R^2=0.998 2），LA甲酯（R^2=0.999 0），GLA甲酯（R^2=0.999 2），ALA甲酯（R^2=0.999 3），花生酸甲酯（R^2=0.999 8），AA甲酯（R^2=0.999 2），EPA甲酯（R^2=0.999 1），DHA甲酯（R^2=0.999 8）。

1.7.2 色谱图

混合标样的脂肪酸甲酯气相色谱图按出峰时间顺序依次为月桂酸甲酯（6.439 min），肉豆蔻酸甲酯（7.474 min），棕榈酸甲酯（9.275 min），十七烷酸甲酯（11.804 min），硬脂酸甲酯（13.538 min），油酸甲酯（15.581 min），LA 甲酯（16.912 min），GLA 甲酯（17.560 min），ALA 甲酯（18.227 min），花生酸甲酯（19.773 min），AA 甲酯（22.152 min），EPA 甲酯（23.486 min），DHA 甲酯（28.607 min）（图 1）。蛋黄样品脂肪酸甲酯气相色谱见图 2。

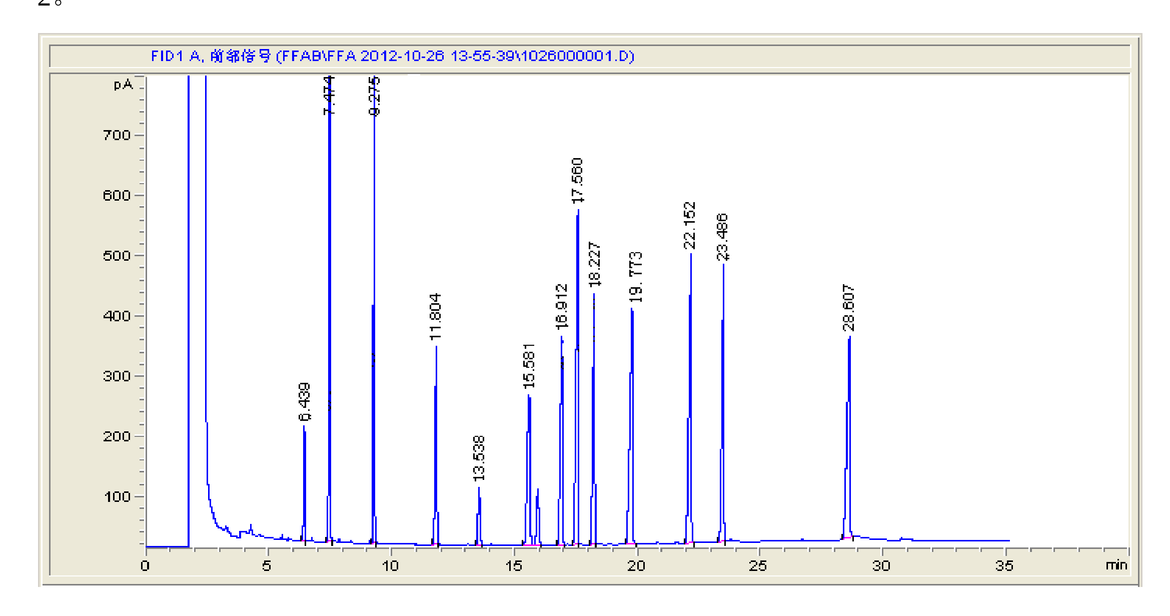


图1　混合标样的脂肪酸甲酯气相色谱图

Fig.1　Gas chromatogram of fatty acid methyl ester of mixed standard sample

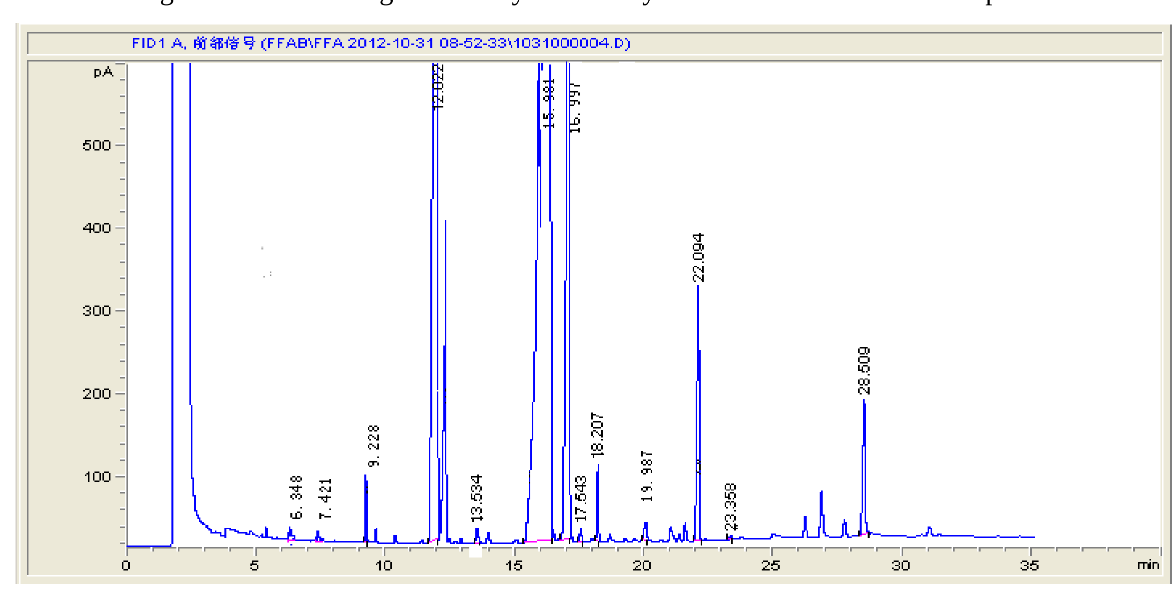


图2　蛋黄样品的脂肪酸甲酯气相色谱图

Fig.2　Gas chromatogram of fatty acid methyl ester of yolk sample

1.7.3 蛋黄中胆固醇测定及含量计算

蛋黄中胆固醇测定采用杨琴等[16]的HPLC法。根据保留时间定性，外标法定量。根据峰面积和浓度绘制标准曲线，以峰面积*y*为纵坐标，各胆固醇标准溶液浓度*x*为横坐标作标准曲线，得出各胆固醇的线性方程，以样品中各胆固醇绝对含量为测定指标（图3）。

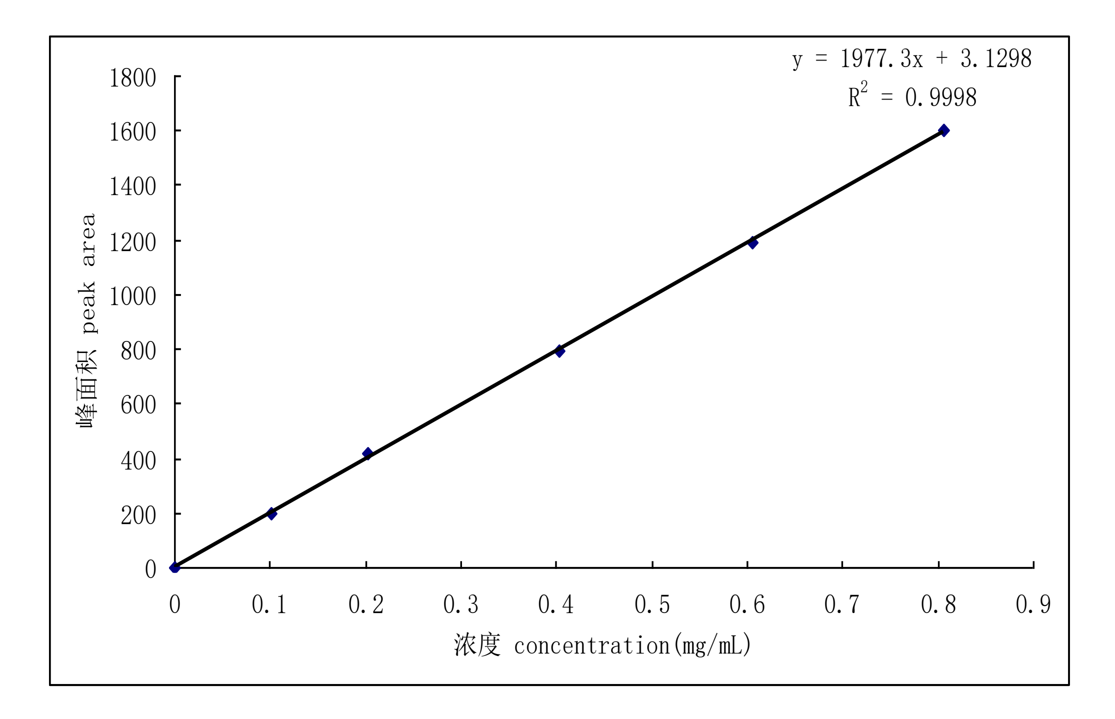


图 3 胆固醇标准工作曲线

Fig.3 Standard curve of cholesterol

1.7.4 橡胶籽饼和试验饲粮的脂肪酸组成

表 3 橡胶籽饼和试验饲粮的脂肪酸组成

Table 3 Fatty acid composition of rubberseed cake and experimental diets mg/g

项目 Items	橡胶籽饼 Rubberseed cake	组别 Groups					
		对照 Control	I	II	III	IV	V
月桂酸 Lauric acid（C12:0）	0.33	0.01	0.01	0.03	0.03	0.05	0.07
肉豆蔻酸 Myristic acid (C14:0）	0.06	0.46	0.48	0.52	0.54	0.56	0.64
棕榈酸 Palmitic acid （C16:0）	1.69	2.22	2.19	2.55	3.22	3.77	5.14
十七烷酸 Margaric acid （C17:0）	3.75	0.21	0.30	0.60	0.58	0.72	0.85
硬脂酸 Stearic acid （C18:0）	0.65	0.43	0.68	0.70	0.92	1.06	2.03

油酸 Oleic acid （C18:1）	17.40	4.77	5.01	5.84	7.32	7.32	8.65
亚油酸 Linolerc acid (C18:2, n-6)	17.15	6.81	7.59	8.10	11.09	13.53	15.57
γ-亚麻酸 γ-linolenic acid (C18:3γ, n-6)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
α-亚麻酸 α-linolenic acid （C18:3α, n-3）	12.37	0.93	1.55	2.17	2.91	3.58	4.54
花生酸 Arachic acid （C20:0）	0.13	ND	ND	ND	0.01	0.02	0.02
花生四烯酸 Arachidonic acid （C20:4, n-6）	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
二十碳五烯酸 Eicosapentaenoic acid （C20:5, n-3）	0.10	ND	ND	ND	0.01	0.03	0.04
二十二碳六烯酸 Docosahexaenoic acid （C22:6, n-3）	0.13	ND	ND	0.01	0.02	0.03	0.03

ND 表示未检测到。ND means undetected.

1.8 数据统计及分析

试验数据采用SPSS 17.0统计软件进行单因素方差分析（one-way ANOVA）和Duncan氏法多重比较，P<0.05为差异显著，试验结果用“平均值±标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 饲粮中不同橡胶籽饼水平对蛋鸡蛋黄中脂肪酸组成的影响

由表 4 可知，第 4 周，与对照组相比，I组蛋鸡蛋黄中月桂酸含量差异显著（P<0.05），其余各试验组均无显著差异（P>0.05）；各试验组蛋黄肉豆蔻酸、棕榈酸、十七烷酸和花生酸含量与对照组相比无显著差异（P>0.05）；I和II组蛋黄硬脂酸含量与对照组相比无显著差异（P>0.05），而III、IV和V组与对照组相比差异显著（P<0.05）；总体来说，饲粮中不同橡胶籽饼水平对蛋黄中 SFA 的沉积量无显著影响（P>0.05）。I和II组蛋黄油酸含量与对照组相比无显著差异（P>0.05），而III、IV和V组与对照组相比差异显著（P<0.05）；I、II和III组的蛋黄 LA 含量与对照组相比无显著差异（P>0.05），而IV和V组与对照组相比差异显著（P<0.05），且蛋黄中 LA 含量与饲粮中橡胶籽饼水平呈正相关，线性方程为 y=0.262 4x+17.376 0，R^2=0.938（P=0.006）；各试验组蛋黄 GLA 含量与对照组相比无显著差异（P>0.05）；各试验组蛋黄 ALA 含量与对照组相比差异均显著（P<0.05），且与饲粮橡胶籽饼水平呈正相关，线性方程为 y=0.066 0x+0.399 5，R^2=0.992（P<0.001）；I组蛋黄 AA 含量与对照组相比差异显著（P<0.05），其余各试验组与对照组相比均无显著差异（P>0.05）；I和II组蛋黄 EPA 含量与对照组相比无显著差异（P>0.05），而III、IV和V组与对照组相比差异显著（P<0.05），且随饲粮橡胶籽饼水平

的增加蛋黄 EPA 含量呈增加趋势，线性方程为 y=0.002 0x+0.107 9，R^2=0.873（P=0.023）；各试验组蛋黄 DHA 含量与对照组相比差异显著（P<0.05），且随饲粮橡胶籽饼水平的增加蛋黄 DHA 含量呈增加趋势，线性方程为 y=0.091 1x+1.498 4，R^2=0.983（P<0.001）。随饲粮橡胶籽饼水平的增加，蛋黄中 SFA 和 MUFA 含量无显著变化（P>0.05），但III组含量均略高于其他组；蛋黄 PUFA、n-6 PUFA 和 n-3 PUFA 含量呈增加趋势，线性方程依次为 y=0.423 7x+22.738 0，R^2=0.957（P=0.030）；y=0.264 6x+20.732 0，R^2=0.917（P=0.010）；y=0.159 1x+2.005 4，R^2=0.989（P<0.001）；蛋黄 n-6/n-3 PUFA 呈降低趋势，且与饲粮中橡胶籽饼水平呈负相关，线性方程为 y=–0.243 0x+9.792 9，R^2=0.882（P=0.002）。

表 4　饲粮不同橡胶籽饼水平对第 4 周蛋鸡蛋黄中脂肪酸组成的影响

Table 4　Effects of different dietary rubberseed cake levels on fatty acid composition in yolk of laying hens at the 4th week　　mg/g

项目 Items	组别 Groups					
	对照 Control	I	II	III	IV	V
月桂酸 Lauric acid （C12:0）	0.23±0.03^{ab}	0.08±0.01^{c}	0.25±0.01^{a}	0.23±0.02^{ab}	0.20±0.01^{b}	0.21±0.01^{b}
肉豆蔻酸 Myristic acid （C14:0）	0.01±0.01	0.01±0.01	0.01±0.01	0.01±0.01	0.01±0.01	0.01±0.01
棕榈酸 Palmitic acid （C16:0）	0.60±0.02	0.64±0.06	0.62±0.02	0.64±0.05	0.57±0.05	0.55±0.05
十七烷酸 Margaric acid （C17:0）	27.44±0.49	27.07±1.15	27.31±1.09	29.72±1.92	27.66±1.61	27.52±1.13
硬脂酸 Stearic acid （C18:0）	1.03±0.02^{c}	1.01±0.06^{c}	1.14±0.06^{bc}	1.29±0.05^{ab}	1.44±0.21^{a}	1.37±0.02^{ab}
油酸 Oleic acid （C18:1）	71.29±1.19^{b}	72.15±1.59^{b}	72.08±0.33^{b}	77.26±1.38^{a}	78.30±1.88^{a}	78.54±0.69^{a}
亚油酸 Linolerc acid (C18:2, n-6)	18.01±0.34^{b}	18.09±2.24^{b}	18.83±0.87^{b}	22.26±1.67^{ab}	23.44±1.33^{a}	23.30±2.64^{a}
γ-亚麻酸 γ-linolenic acid (C18:3γ, n-6)	0.16±0.01	0.15±0.01	0.16±0.01	0.17±0.01	0.17±0.01	0.17±0.01
α-亚麻酸 α-linolenic acid （C18:3α, n-3）	0.40±0.02^{d}	0.76±0.09^{c}	0.94±0.07^{c}	1.51±0.14^{b}	1.73±0.12^{ab}	2.01±0.26^{a}
花生酸 Arachic acid （C20:0）	0.29±0.01	0.26±0.03	0.27±0.01	0.28±0.03	0.31±0.01	0.27±0.03
花生四烯酸 Arachidonic acid （C20:4, n-6）	3.42±0.06^{a}	2.97±0.30^{b}	3.08±0.01^{ab}	3.25±0.07^{ab}	3.47±0.01^{a}	3.15±0.19^{ab}
二十碳五烯酸 Eicosapentaenoic acid （C20:5, n-3）	0.11±0.02^{c}	0.11±0.01^{c}	0.13±0.01^{bc}	0.16±0.01^{a}	0.14±0.02^{ab}	0.15±0.01^{ab}
二十二碳六烯酸 Docosahexaenoic acid （C22:6,	1.35±0.03^{e}	2.04±0.21^{d}	2.37±0.02^{c}	3.10±0.05^{b}	3.38±0.09^{ab}	3.59±0.18^{a}

n-3）						
饱和脂肪酸 SFA	29.58	29.08	29.59	32.18	30.20	29.94
单不饱和脂肪酸 MUFA	27.43	27.06	27.31	29.72	27.66	27.52
多不饱和脂肪酸 PUFA	23.45	24.11	25.50	30.44	32.33	32.36
n-6 多不饱和脂肪酸 n-6 PUFA	21.59	21.20	22.07	25.68	27.08	26.61
n-3 多不饱和脂肪酸 n-3 PUFA	1.86	2.91	3.43	4.76	5.25	5.75
n-6/n-3 多不饱和脂肪酸 n-6/n-3 PUFA	11.64	7.29	6.43	5.39	5.16	4.62

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著(P>0.05)，不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference (P>0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05). The same as below.

由表 5 可知，第 6 周，各试验组蛋黄月桂酸、肉豆蔻酸、棕榈酸和花生酸含量与对照组相比均无显著差异（P>0.05），各试验组间也无显著差异（P>0.05）；I组蛋黄十七烷酸含量与对照组相比差异显著（P<0.05），其余各试验组与对照组相比均无显著差异（P>0.05）；II组蛋黄硬脂酸含量与对照组相比差异显著（P<0.05），其余各试验组与对照组相比均无显著差异（P>0.05）；总体来说，饲粮中不同橡胶籽饼水平对蛋黄中 SFA 的沉积量无显著影响（P>0.05）。I组蛋黄油酸含量与对照组相比差异显著（P<0.05），其余各试验组与对照组相比均无显著差异（P>0.05）；各试验组蛋黄 LA 含量与对照组相比差异均显著（P<0.05），且随饲粮橡胶籽饼水平的增加蛋黄 LA 含量呈增加趋势，线性方程为 y=0.310 5x+23.598 0，R^2=0.924（P=0.008）；各试验组蛋黄 GLA 含量与对照组相比均无显著差异（P>0.05）；I组蛋黄 ALA 含量与对照组相比无显著差异（P>0.05），其余各试验组与对照组相比差异均显著（P<0.05），且随饲粮橡胶籽饼水平的增加蛋黄 ALA 含量呈增加趋势，线性方程为 y=0.076 9x+0.587 0，R^2=0.993（P<0.001）；V组蛋黄 AA 含量与对照组相比差异显著（P<0.05），其余各试验组与对照组相比差异均不显著（P>0.05），且各试验组蛋黄 AA 含量均低于对照组；各试验组蛋黄 EPA 含量与对照组相比均无显著差异（P>0.05），线性方程为 y=0.001 3x+0.130 9，R^2=0.891（P=0.017）；各试验组蛋黄 DHA 含量与对照组相比差异均显著（P<0.05），且随饲粮橡胶籽饼水平的增加蛋黄 DHA 含量呈增加趋势，线性方程为 y=0.096 3x+1.801 8，R^2=0.986（P<0.001）。随饲粮橡胶籽饼水平的增加，蛋黄中 SFA 和 MUFA 含量无显著变化（P>0.05），但试验组蛋黄 MUFA

含量均高于对照组；蛋黄 PUFA、n-6 PUFA 和 n-3 PUFA 含量呈增加趋势，线性方程依次为 y=0.470 1x+30.452 0，R^2=0.953（P=0.003）；y=0.295 6x+27.932 0，R^2=0.911（P=0.011）；y=0.174 5x+2.519 7，R^2=0.991（P<0.001）；n-6/n-3 PUFA 呈降低趋势，且与饲粮橡胶籽饼水平呈负相关，线性方程为 y=–0.250 2x+10.567 0，R^2=0.904（P=0.013）。

表 5　饲粮不同橡胶籽饼水平对第 6 周蛋鸡蛋黄中脂肪酸组成的影响

Table 5　Effects of different dietary rubberseed cake levels on fatty acid composition in yolk of laying hens at the 6th week　　mg/g

项目 Items	组别 Groups					
	对照 Control	I	II	III	IV	V
月桂酸 Lauric acid （C12:0）	0.14±0.02	0.13±0.01	0.14±0.02	0.16±0.01	0.16±0.01	0.13±0.02
肉豆蔻酸 Myristic acid （C14:0）	0.01±0.01	0.01±0.01	0.01±0.01	0.01±0.01	0.01±0.01	0.01±0.01
棕榈酸 Palmitic acid （C16:0）	0.65±0.01	0.74±0.01	0.61±0.09	0.64±0.13	0.63±0.04	0.60±0.07
十七烷酸 Margaric acid （C17:0）	31.67±0.68^{b}	34.93±0.24^{a}	31.99±0.08^{b}	32.02±0.58^{b}	33.33±2.21^{ab}	30.74±0.51^{b}
硬脂酸 Stearic acid （C18:0）	1.43±0.11^{a}	1.28±0.10^{ab}	1.17±0.03^{b}	1.40±0.14^{ab}	1.52±0.08^{a}	1.48±0.03^{a}
油酸 Oleic acid （C18:1）	88.01±1.98^{b}	92.10±0.62^{a}	90.90±1.31^{ab}	90.85±1.26^{ab}	90.65±1.88^{ab}	91.55±1.66^{ab}
亚油酸 Linolerc acid (C18:2, n-6)	23.07±0.48^{d}	24.94±0.15^{c}	26.31±0.21^{b}	30.34±0.35^{a}	30.32±0.57^{a}	29.90±0.34^{a}
γ-亚麻酸 γ-linolenic acid (C18:3γ, n-6)	0.20±0.01	0.20±0.01	0.18±0.01	0.19±0.02	0.20±0.03	0.17±0.01
α-亚麻酸 α-linolenic acid （C18:3α, n-3）	0.52±0.03^{d}	1.07±0.03^{cd}	1.28±0.25^{bc}	1.85±0.40^{ab}	2.08±0.28^{a}	2.49±0.30^{a}
花生酸 Arachic acid （C20:0）	0.34±0.02	0.36±0.01	0.31±0.05	0.34±0.06	0.34±0.02	0.31±0.02
花生四烯酸 Arachidonic acid （C20:4, n-6）	4.17±0.14^{a}	4.07±0.07^{ab}	3.87±0.08^{ab}	3.92±0.36^{ab}	4.02±0.02^{ab}	3.69±0.19^{b}
二十碳五烯酸 Eicosapentaenoic acid （C20:5, n-3）	0.14±0.01	0.14±0.01	0.14±0.01	0.16±0.01	0.16±0.01	0.16±0.02
二十二碳六烯酸 Docosahexaenoic acid （C22:6, n-3）	1.59±0.03^{e}	2.39±0.03^{d}	2.88±0.03^{c}	3.41±0.27^{b}	3.67±0.01^{b}	4.08±0.17^{a}
饱和脂肪酸 SFA	34.24	37.45	34.24	34.57	35.99	33.28
单不饱和脂肪酸 MUFA	88.01	92.10	90.90	90.85	90.65	91.55
多不饱和脂肪酸 PUFA	29.68	32.81	34.65	39.86	40.46	40.49

n-6 多不饱和脂肪酸 n-6 PUFA	27.44	29.21	30.36	34.44	34.55	33.76
n-3 多不饱和脂肪酸 n-3 PUFA	2.24	3.60	4.29	5.42	5.91	6.73
n-6/n-3 多不饱和脂肪酸 n-6/n-3 PUFA	12.26	8.11	7.07	6.35	5.84	5.01

2.2 饲粮中不同橡胶籽饼水平对蛋鸡蛋黄中胆固醇含量的影响

由表 6 可知，各试验组蛋黄胆固醇含量与对照组相比无显著差异（*P*>0.05），但各试验组全蛋胆固醇含量均低于对照组（*P*>0.05），且IV组含量最低。

表 6 饲粮中不同橡胶籽饼水平对蛋鸡蛋黄中胆固醇含量的影响

Table 6 Effects of different dietary rubberseed cake levels on the cholesterol content in yolk of laying hens

项目 Items	组别 Groups					
	对照 Control	I	II	III	IV	V
蛋重 Egg weight/g	65.11±3.20[a]	60.25±4.67[ab]	64.16±6.57[ab]	57.30±1.89[b]	59.57±2.58[ab]	62.53±5.12[ab]
蛋黄重 Yolk weight/g	16.07±1.99	15.31±0.37	16.52±1.03	15.25±1.68	14.83±0.37	15.89±1.07
蛋黄比重 Yolk percentage/%	24.65±2.47	25.56±2.58	25.86±1.56	26.58±2.28	24.91±0.81	25.44±0.56
胆固醇平均含量 The average cholesterol content						
蛋黄 Yolk/（mg/g）	11.30±1.63	10.40±1.82	10.37±1.62	10.31±0.87	10.48±0.85	10.48±0.74
全蛋 Whole egg/(mg/个)	182.98±46.55	159.52±31.15	172.41±34.87	172.75±25.20	155.52±16.06	166.27±12.45

3 讨 论

本试验研究发现，随饲粮中富含 LA 和 ALA 的橡胶籽饼水平的增加，蛋鸡蛋黄中 LA、ALA、EPA 及 DHA 含量增加，蛋黄 PUFA、n-6 PUFA 和 n-3 PUFA 含量也呈增加趋势，n-6/n-3 PUFA 呈降低趋势。Whitehead[17]发现饲粮中脂肪酸组成可影响蛋黄中脂肪酸的沉积和组成。由于蛋黄中 PUFA 和其他脂类成分受饲粮中相应成分含量的影响，故提高饲粮中 PUFA 含量可提高蛋中 PUFA 的沉积量[18-21]。Bruneel 等[22]研究发现，饲粮中添加微藻可显著增加蛋鸡蛋黄中 n-3 PUFA 含量，生产出富含 DHA 的鸡蛋。饲粮中添加富含 ALA 的胡麻籽和紫苏籽等，可增加蛋鸡蛋黄中 n-3 PUFA 的沉积，获得富含 n-3 PUFA 的鸡蛋[23-24]。上述研究结果与本试验结果相一致。饲粮 n-3 PUFA 能显著提高蛋黄中总 PUFA 含量，促进蛋黄中 n-3 PUFA 的富

集，降低蛋黄中的 n-6 PUFA 的含量及 n-6/n-3 PUFA[25-26]。本研究中，饲粮中添加橡胶籽饼提高了蛋黄中 n-6 PUFA 的含量，其主要原因是蛋黄中 LA（属 n-6 PUFA）含量显著增加所致，与吴华等[20]结论一致。Pardio 等[27]报道认为，饲粮中添加富含 n-3 PUFA 的饲料原料能竞争抑制 AA 在鸡蛋中的沉积，提高鸡蛋中 n-3 PUFA 含量，降低 n-6/n-3 PUFA 比值。本研究中，随饲粮橡胶籽饼水平的增加，n-6/n-3 PUFA 降低，也证实了这个结论。

本试验结果表明，各试验组蛋鸡蛋黄中 AA 含量均低于对照组（除第 4 周Ⅳ组外），原因可能是饲粮中 LA 与 ALA 比例的变化所致。饲粮中添加富含 n-3 PUFA 的饲料原料，鸡蛋中受影响最大的 n-6 PUFA 为 AA。Cherian 等[28]报道，蛋鸡饲粮中添加富含 ALA 的饲料原料会导致鸡蛋中 AA 含量降低。Jiang 等[13]研究表明，蛋鸡采食含 ALA 的饲粮时，鸡蛋中 AA 含量的降低可能是由于 ALA 抑制了 AA 的合成。这可能是由于亚麻酸以及其代谢物可抑制 AA 的生成和代谢或能够置换出 AA 的磷脂酶[29]，LA 和 ALA 在去饱和碳链延长过程中竞争相同的 $\Delta6$ 和 $\Delta5$ 酶[30]。因此，饲粮中 ALA 含量的增加会降低 AA 代谢，可能是鸡蛋中 AA 沉积量减少的原因[31]。

本试验研究结果表明，蛋黄 SFA 中含量最高的为十七烷酸。棕榈酸在体内有 2 个转化方向：1）可进行碳链延长转变为硬脂酸；2）可通过去饱和作用生成棕榈烯酸[31]。有关饲粮中添加富含 n-3 PUFA 的饲料原料对蛋中 SFA 含量影响的研究结果不同。Caston 等[32]报道认为，饲粮中添加富含 n-3 PUFA 的亚麻籽或鱼油，对蛋中棕榈酸含量无显著影响；而 Marshall 等[33]发现，饲喂白来航蛋鸡 1.5%的鱼油，蛋中棕榈酸含量显著降低。Sims 等[34]报道，肝脏中不饱和脂肪酸的消化产生的对脂肪酸合成的抑制作用高于 SFA。棕榈酸含量的降低可能与饲粮中不饱和脂肪酸含量增加导致脂肪合成的下降有关[31]。李运珊等[35]给猕猴饲喂橡胶籽油，结果发现猕猴体内脂肪酸组成发生了显著变化，主要表现为 SFA 含量显著降低（主要为棕榈酸含量降低），不饱和脂肪酸含量增加，其中主要为 LA 含量增加，亚麻酸含量也略有增加。而本试验研究结果发现饲粮中添加橡胶籽饼对蛋黄中的棕榈酸含量无显著影响，与 Caston 等[32]研究结果相一致。

本试验研究也发现，蛋黄中 PUFA 含量随蛋鸡饲粮中橡胶籽饼水平的增加而增加，而蛋黄 MUFA 和 SFA 含量变化不大；蛋黄胆固醇含量与对照组相比也无显著差异。其原因除与蛋鸡对脂肪酸的沉积特性有关外，还与橡胶籽饼的脂肪酸组成有关，同时也表明蛋黄脂肪酸组

成主要受饲粮中 PUFA 含量的影响。汪鲲[36]研究发现，饲粮中添加亚麻籽可显著提高蛋黄 PUFA 含量，降低 MUFA 和 SFA 含量。卢建等[37]利用水飞蓟油饲喂蛋鸡的研究发现，与大豆油饲粮相比，水飞蓟油能显著提高蛋中 SFA 总含量，显著降低 PUFA 总含量，但与常规饲粮无显著差异；与常规饲粮和大豆油饲粮相比，水飞蓟油能显著增加蛋中 ALA 和 DHA 含量。Gul 等[38]报道，饲粮中添加 2.0%、4.0%和 6.0%的菜籽油，可降低蛋黄 PUFA 含量，显著提高 MUFA 含量，提高胆固醇含量；Hoan 等[39]在蛋鸡饲粮中添加 1.5%、3.0%和 4.5%芝麻油也得到了类似的结果。

4 结 论

①饲粮中添加5%～25%的橡胶籽饼对蛋鸡蛋黄SFA组成无显著影响，但蛋黄LA、ALA、EPA和DHA含量随饲粮橡胶籽饼水平的增加呈增加趋势，且各试验组蛋黄DHA含量与对照组差异显著。

②饲粮中添加不同水平的橡胶籽饼能够获得较低的n-6/n-3 PUFA，达到提高蛋黄PUFA、n-6 PUFA和n-3 PUFA含量的目的。

参考文献：

[1] 卢智文.橡胶籽的饲料价值[J].饲料研究,2003(11):40–41.

[2] 赵瀛华,范武平,范武波.橡胶籽的全成分开发与利用[J].热带农业工程,2013,37(2):46–49.

[3] 彭艳,范武波,孙娟.关于橡胶籽综合利用情况的研究报告[J].中国热带农业,2012(4):6–7.

[4] 刘建中,陈积贤.云南天然橡胶产业可持续发展的建议[J].中国热带农业,2010(2):16–19.

[5] 胡建峰,杜亚光.关于华坤公司橡胶籽综合加工利用情况调研报告[J].中国热带农业,2012(4):4–6.

[6] 杨瑞瑜,杨灿光.橡胶籽饼饲喂肉用仔鸡的毒理学研究[J].云南农业大学学报,1990,5(2):120–124.

[7] 戴志明,李琦华,李继萍.橡胶籽饼在肉用型鸡日粮中的饲喂效果[J].云南畜牧兽医,1990(1):4–7.

[8] 宋彩华,汤汝松,适稳英.橡胶籽油饼作蛋鸡饲料的营养价值评定研究[J].云南畜牧兽医,1989(3):6–9.

[9] OLIVEIRA D D,BAIÃO N C,CANÇADO S V,et al.Effects of lipid sources in the diet of

laying hens on the fatty acid profiles of egg yolks[J].Poultry Science,2010,89(11):2484–2490.

[10] 杨彩霞.n-3 脂肪酸的生物转化规律以强化 n-3 脂肪酸鸡蛋对脂类代谢影响机理的研究[D].博士学位论文.北京:中国农业大学,1997.

[11] LEWIS N M,SEBURG S,FLANAGAN N L.Enriched eggs as a source of n-3 polyunsaturated fatty acids for humans[J].Poultry Science,2000,79(7):971–974.

[12] BAUCELLS M D,CRESPO N,BARROETA A C,et al.Incorporation of different polyunsaturated fatty acids into eggs[J].Poultry Science,2000,79(1):51–59.

[13] JIANG Z R,AHN D U,SIM J S.Effects of feeding flax and two types of sunflower seeds on fatty acid compositions of yolk lipid classes[J].Poultry Science,1991,70(12):2467–2475.

[14] MILINSK M C,MURAKAMI A E,GOMES S T M,et al.Fatty acid profile of egg yolk lipids from hens fed diets rich in n-3 fatty acids[J].Food Chemistry,2003,83(2):287–292.

[15] SUKHIJA P S,PALMQUIST D L.Rapid method for determination of total fatty acid content and composition of feedstuffs and feces[J].Journal of Agricultural and Food Chemistry,1988,36(6):1202–1206.

[16] 杨琴,戴瑞彤.HPLC 法测定不同品种鸡蛋中的胆固醇含量[J].农产品加工：学刊,2006(8):71–74.

[17] WHITEHEAD C C.The response of egg weight to the inclusion of different amounts of vegetable oil and linoleic acid in the diet of laying hens[J].British Poultry Science,1981,22(6):525–532.

[18] 杨凤.动物营养学[M].2 版.北京:中国农业出版社,2001.

[19] 叶天,赵淑娟,敬璞.多不饱和脂肪酸在鸡蛋蛋黄中的富集作用[J].食品工业,2012,33(6):90–92.

[20] 吴华,张辉,丁保安,等.对富含 ω-6 多不饱和脂肪酸鸡蛋的研究[J].四川畜牧兽医,2004,31(5):29–30.

[21] 喻礼怀,刘颖,李志兵,等.深海鱼油对花凤鸡产蛋性能和鸡蛋脂肪酸组成的影响[J].中国家禽,2014,36(15):29–32.

[22] BRUNEEL C,LEMAHIEU C,FRAEYE L,et al.Impact of microalgal feed supplementati

on on omega-3 fatty acid enrichment of hen eggs[J].Journal of Functional Foods,2013, 5(2):897–904.

[23] 潘学燕,高玉鹏.n-3 系列多不饱和脂肪酸(PUFA)富集保健功能蛋开发研究[J].西北农业学报,2008,17(1):20–26.

[24] 陈继新,卢洁,夏中生,等.产蛋鸡日粮亚麻油水平对蛋黄脂肪组成及脂质代谢的影响[J].畜牧与兽医,2010,42(6):40–43.

[25] HERBER S M,VAN ELSWYK M E.Dietary marine algae promotes efficient deposition of n-3 fatty acids for the production of enriched shell eggs[J].Poultry Science,1996, 75(12):1501–1507.

[26] 叶盛群,周安国,王之盛.ω-3 PUFA 对蛋黄多不饱和脂肪酸组成的影响[J].中国饲料,2009(3):24–26.

[27] PARDIO V T,LANDIN L A,WALISZEWSKI K N,et al.The effect of soybean soapstock on the quality parameters and fatty acid composition of the hen egg yolk[J].Poultry Science,2005,84(1):148–157.

[28] CHERIAN G,SIM J S.Effect of feeding full fat flax and canola seeds to laying hens on the fatty acid composition of eggs,embryos,and newly hatched chicks[J].Poultry Science,1991,70(4):917–922.

[29] MATHEWS C K,VAN HOLDE K E,AHERN K G.Biochemistry[M].San Francisco:Addison-Wesley Longman,2000.

[30] HAYEK M G,REINHART G A.Utilization of ω-3 fatty acids in companion animal nutrition[J].World Review of Nutrition and Dietetics,1998,83:176–185.

[31] AYERZA R,COATES W.Dietary levels of chia:influence on yolk cholesterol,lipid content and fatty acid composition for two strains of hens[J].Poultry Science,2000,79(5):724–739.

[32] CASTON L,LEESON S.Research note:dietary flax and egg composition[J].Poultry Science,1990,69(9):1617–1620.

[33] MARSHALL A C,SAMS A R,VAN ELSWYK M E.Oxidative stability and sensory quality of stored eggs from hens fed 1.5% menhaden oil[J].Journal of Food Science,199

4,59(3):561–563.

[34] SIMS J S,Qi G H.Designing poultry products using flaxseed[M]//CUNNANE S C,THOMPSON L U.Flaxseed in Human Nutrition.Champaign,IL:AOCS Press,1995:315–332.

[35] 李运珊,刘超然,唐朝才,等.橡胶种子油对猕猴体内脂肪酸组成的影响[J].海南大学学报:自然科学版,1994,12(4):338–340.

[36] 汪鲲.n-3 多不饱和脂肪酸在蛋黄和组织中的富集规律及其对产蛋鸡脂类代谢的影响[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院,2000.

[37] 卢建,曲亮,李守龙,等.水飞蓟油对蛋鸡产蛋性能、蛋品质及鸡蛋脂肪酸组成的影响[J].动物营养学报,2015,27(12):3831–3839.

[38] GUL M,YORUK M A,AKSU T,et al.The Effect of different levels of canola oil on performance,egg shell quality and fatty acid composition of laying hens[J].International Journal of Poultry Science,2012,11(12):769–776.

[39] HOAN N D,KHOA M A.The effect of different levels of sesame oil on productive performance,egg yolk and blood serum lipid profile in laying hens[J].Open Journal of Animal Sciences,2016,6(1):85–93.

Effects of Dietary Rubberseed Cake on Fatty Acid Composition in Yolk of Laying Hens

LU Qiongfen[1] CHEN Peifu[1*] CHAI Yan[2] LI Qihua[3**]

（1. *College of Animal Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming* 650201, *China*; 2. *Mangshi Bureau of Science and Technology of Dehong State of Yunnan Province, Dehong* 678400, *China*; 3. *Key Laboratory of Animal Nutrition and Feed, College of Animal Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming* 650201, *China*）

Abstract: This study was conducted to evaluate the effects of rubberseed cake on the fatty acid composition and cholesterol content in yolk of Hy-Line Brown laying hens by supplemented different levels of rubberseed cake in their diets. Seventy two 25-week-old healthy Hy-Line Brown laying hens were randomly divided into 6 groups with 4 replicates per group and 3 hens per

---

*Contributed equally

**Corresponding author, professor, E-mail: 2473170727@qq.com （责任编辑 李慧英）

replicate. The laying hens in the control group were fed the basal diet, and the others in groups Ⅰ to Ⅴ were fed the basal diet supplemented with 5.00%, 10.00%, 15.00%, 20.00% and 25.00% rubberseed cake, respectively. The experiment lasted for 6 weeks. The results showed that different dietary rubberseed cake levels had no significant effect on saturated fatty acid (SFA) composition in yolk of laying hens (P>0.05), but the contents of linoleic acid (LA), α-linolenic acid (ALA), eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA) in yolk showed an increasing trend with the increase of dietary rubberseed cake level, and the DHA content in yolk in all experimental groups had significant difference with that in the control group (P<0.05). The contents of polyunsaturated fatty acids (PUFA), n-6 PUFA and n-3 PUFA in yolk showed an increasing trend with the increase of dietary rubberseed cake level, but ratio of n-6 PUFA to n-3 PUFA showed a decreasing trend. The cholesterol content in yolk in all experimental groups had no significant difference with that in the control group (P>0.05), but lower cholesterol content was detected in all experimental groups compared with the control group. The above findings indicate that different dietary rubberseed cake levels can obtain a lower ratio of n-6 PUFA to n-3 PUFA and achieve the purpose of improving the contents of PUFA, n-3 PUFA and n-6 PUFA in yolk.

Key words: rubberseed cake; laying hens; yolk; polyunsaturated fatty acids